



Trwałość ostrzy z węgla spiekane podczas frezowania CNC płyt drewnopochodnych

The lifetime of cemented carbide blades during wood- based panels milling

Jacek Wilkowski^{a,*}, *ORCID: 0000-0001-5798-6761*
Marek Barlak^b, *ORCID: 0000-0003-1416-7461*

^a*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna, Wydział Technologii Drewna, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa*

^b*Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk w Otwocku, Departament Fizyki Materiałów, Zakład Technologii Plazmowych i Jonowych, ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock, Polska*

*Osoba do korespondencji: jacek_wilkowski@sggw.pl

Streszczenie

W pracy zbadano wpływ prędkości skrawania, siły skrawania i zanieczyszczeń mineralnych (w postaci piasku) w płytach drewnopochodnych na trwałość ostrzy z węgla spiekane (WC-Co) podczas frezowania CNC. Plan badań eksperymentalnych realizowany był w ramach klasycznej metody badania trwałości narzędzia. Skrawano płytę pilśniową MDF i HDF, a także płyty wiórowe - trójwarstwową i MFP[®]. Podstawowym czynnikiem materiałowym wpływającym na trwałość ostrzy z węgla spiekane jest zawartość piasku w płytach drewnopochodnych.

Abstract

The study investigated the influence of cutting speed, cutting force and mineral impurities (in the form of sand) in wood-based panels on the lifetime of cemented carbide (WC-Co) blades during CNC milling. The experimental research plan was carried out as part of the classic method for testing of tool life. The MDF and HDF fibreboards as well three-layer and MFP[®] chipboards were cutting. The basic factor affecting the lifetime of cemented carbide blades is the sand content in wood-based panels.

Słowa kluczowe: trwałość ostrza, ostrza WC-Co, prędkość skrawania, płyty drewnopochodne, frezowanie CNC

Keywords: tool life, WC-Co blades, cutting speed, wood-based panels, CNC milling

Wprowadzenie

Udział obrabiarek sterowanych numerycznie - CNC (ang. *Computer Numerical Control*) w przemysłowej produkcji mebli wzrasta z roku na rok. Ma to związek z szeregiem zalet tego typu maszyn, do których należą między innymi:

- duża elastyczność wytwarzania,
- wysoka dokładność, jakość i powtarzalność obróbki,
- możliwość automatyzacji produkcji,
- obniżenie jednostkowego kosztu produktu,
- duże bezpieczeństwo pracy.

Mimo, że obrabiarki te są jeszcze na dzień dzisiejszy stosunkowo drogie, to ich cena w miarę powszechnienia technologii CNC relatywnie spada.

Obróbka CNC poprzez możliwość bezstopniowej zmiany parametrów skrawania (prędkości skrawania i prędkości posuwu) w szerokim zakresie, daje duże możliwości wpływu na jakość przedmiotu obrabianego, ale również na wydajność produkcji, czy tempo zużywania się narzędzi. Podstawowa wiedza o tych zależnościach powinna być znana nie tylko operatorowi maszyn, lecz przede wszystkim programiście tworzącemu programy CNC i planującemu ruchy narzędzia względem przedmiotu obrabianego w kolejnych krokach obróbkowych.

Prędkość skrawania jest parametrem obróbki, który odgrywa kluczową rolę w procesie tępienia ostrzy narzędzi skrawających. Zwiększenie trwałości można osiągnąć przez zmniejszenie prędkości skrawania. Należy jednak pamiętać, że nadmierne zwiększenie trwałości może spowodować zbyt znaczne wydłużenie czasu maszynowego operacji i w efekcie spadek wydajności obróbki (Dmochowski 1978).

Ważnym parametrem geometrycznym skrawania jest posuw na ostrze. Podczas frezowania można obliczyć go ze wzoru:

$$\Delta z = 1000u/nz \quad (1)$$

gdzie: Δz - posuw na ostrze w mm, u - prędkość posuwu w m/min., n - prędkość obrotowa wrzeciona obrabiarki w obr./min., z - liczba ostrzy narzędzia skrawającego.

Wartość posuwu na ostrze równa jest maksymalnej grubości wióra podczas obróbki, a zatem jest parametrem bezpośrednio wpływającym na opory skrawania, co odgrywa zasadniczą rolę w tym procesie. Stąd planowanie obróbki powinno zaczynać się właśnie od tego parametru, a jego wartości należy wiązać z właściwościami materiału obrabianego, głównie z jego gęstością i twardością. Przy materiałach o dużej gęstości należy odpowiednio zmniejszyć posuw na ostrze, aby nie przekraczać dopuszczalnych sił skrawania, które mogą doprowadzić do przyspieszonego zużycia wytrzymałościowego materiału ostrza. Lekkie materiały włókniste warto skrawać z większymi wartościami posuwu na ostrze, gdyż to pozwoli na łatwiejsze formowanie się i oddzielenie wióra, a zatem na

uzyskanie lepszej jakości obróbki. Tendencja ta jest bardziej wyraźna dla ostrza o większym stopniu zużycia niż dla ostrza nowego (Porankiewicz 2003).

W kolejnym kroku planowania obróbki należy wyznaczyć prędkość posuwu. Jak wspomniano wcześniej ten kinematyczny parametr decyduje o wydajności skrawania, a zatem jego wartość powinna być przyjmowana z myślą o liczbie wykonanych przedmiotów w jednostce czasu.

Prędkość obrotowa wyznaczona zostanie na końcu, po przekształceniu wzoru 1 i podstawieniu wartości posuwu na ząb, posuwu minutowego i liczby ostrzy w narzędziu skrawającym. Ze względu na możliwość uzyskania wysokiej wydajności obróbki, często skrawa się z maksymalnymi prędkościami obrotowymi (dostępnymi dla danego wrzeciona obrabiarki lub narzędzia), a tym samym z maksymalnymi prędkościami skrawania. To oczywiście przyczynia się do drastycznego obniżenia trwałości ostrzy narzędzia.

Istotnym pytaniem jest, czy takie postępowanie jest uzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia. Należy pamiętać, że obniżenie ceny narzędzia o 30% przekłada się na spadek jednostkowego kosztu wyprodukowanego przedmiotu zaledwie o 1%. Podobne obniżenie kosztu jednostkowego uzyskuje się zwiększając trwałość narzędzi o 50%. Natomiast zwiększenie parametrów skrawania o 20% powoduje obniżenie kosztów jednostkowych produktu o 15% (http://sandvik.ecbook.se/se/pl/training_handbook/). Zatem w warunkach wysokowydajnej produkcji przemysłowej nie uzasadnione jest ograniczanie prędkości skrawania ze względu na wydłużenie okresu trwałości narzędzia. Bardziej opłacalne jest podwyższenie parametrów skrawania, w tym prędkości skrawania (poprzez zmianę prędkości obrotowej). W produkcji elastycznej, małoseryjnej, w prototypowaniu, zwiększanie parametrów skrawania w celu uzyskania wysokich wydajności jest niepotrzebne. Wtedy można zredukować prędkość obrotową i tym samym zwiększyć trwałość ostrza.

Jak wynika z powyższych rozważań, określenie zależności trwałości ostrza od prędkości skrawania podczas obróbki różnych materiałów jest bardzo ważnym zagadnieniem praktyki przemysłowej. Niniejsza praca przybliży to zagadnienie w odniesieniu do frezowania wybranych płyt drewnopochodnych ostrzami z węglików spiekanych (WC-Co).

Kompozyt WC-Co jest materiałem narzędziowym wytwarzanym metodami metalurgii proszków z węgla wolframu ze spoiwem w postaci kobaltu. Jest to obecnie zdecydowanie najpopularniejszy materiał do zastosowań narzędziowych w wiórowej obróbce drewna i płyt drewnopochodnych.

Krajowi producenci narzędzi oraz ich użytkownicy wykorzystują kompozyty WC-Co różnych rodzajów, głównie dwóch światowych producentów tych materiałów. Pierwszym z nich jest firma CERATIZIT GmbH z macierzystą siedzibą w Austrii, drugim jest firma TIGRA GmbH z siedzibą w Niemczech. CERATIZIT jest głównym udziałowcem holdingu PLANSEE, który założył w 1921 roku (pod nazwą METALLWERK PLANSEE GmbH) w Reutte w Tyrolu (Austria) dr Paul Schwarzkopt. Jest on autorem wielu patentów

dotyczących technologii wytwarzania węglików spiekanych (Widia X, WC-TiC, Titanit) i prekursorem przemysłowej produkcji WC-Co (Ortner i in. 2012).

Główne dostępne w sprzedaży na polskim rynku kompozyty WC-Co (w postaci frezarskich noży wymiennych) wykorzystywane jako materiał ostrzy narzędzi skrawających do obróbki tworzyw drzewnych przedstawiono w Tabeli 1. Ze względu na twardość i odporność termiczną węgliki dzieli się na grupy główne P, M, K oraz na podgrupy 01 do 50, przy czym ciągliwość węglików wzrasta, a twardość spada wraz ze wzrostem numeru grupy, zgodnie z oznaczeniami ISO. W obróbce materiałów drzewnych stosowane są wyłącznie węgliki grupy K (Tabela 1). Ciągłe i "miękkie" rodzaje K20/30 używane są do obróbki drewna litego, twarde rodzaje K01/05 - do płyt drewnopochodnych i to głównie one są podstawowym materiałem narzędziowym w przemyśle meblarskim.

Tabela 1. Frezarskie noże wymienne WC-Co do obróbki materiałów drzewnych dostępne na rynku krajowym
Table 1. WC-Co milling indexable knives for machining of wood-based materials available on the domestic market (www.ceratzit.com/en/products/wood-stone-working), (www.tigra.de/en/products/woodworking.html)

Lp.	Oznaczenie	Kod ISO	Kod USA	Producent	Wielkość ziarna WC	Zawartość spoiwa	Gęstość	Twardość			Wytrzymałość na zginanie	
					μm	%		g/cm ³	HV10	HV30	HRA	MPa
1	UMG04	-	-	Ceratzit (Austria)	<0,2	2,0	15,30	2550	2450	-	3200	464
2	SMG02	-	-	Ceratzit (Austria)	0,2-0,5	2,4	15,25	2300	2200	95,2	3500	508
3	KCR08	-	-	Ceratzit (Austria)	0,5-0,8	3,2	15,20	1920	1885	93,4	2300	334
4	MG06	K01	C4	Ceratzit (Austria)	0,5-0,8	3,3	15,20	2020	1980	93,9	3300	479
5	HC05	K10	C3	Ceratzit (Austria)	0,5-0,8	4,0	15,15	1760	1730	92,9	2100	305
6	T03SMG	K01	C4++	Tigra (Niemcy)	0,5-0,7	3,5	-	2100	-	94,6	2400	348
7	T10MG	K10-K40	C3+	Tigra (Niemcy)	0,7-1,0	10,0	-	1650	-	92,3	3600	522
8	T04F	K05	C4	Tigra (Niemcy)	1,0-1,4	4,0	-	1750	-	92,8	2350	341

Cel i zakres pracy

Celem pracy było zbadanie wpływu prędkości skrawania, sił skrawania i zanieczyszczeń mineralnych (piasku) w materiale obrabianym na trwałość ostrzy z węglika spiekane (WC-Co) podczas obróbki wybranych płyt drewnopochodnych. Frezowano płytę pilśniową MDF i HDF, a także płyty wiórowe - trójwarstwową i MFP®. Użyto ostrzy z węglika spiekane WC-Co oraz trójosiowej obrabiarki CNC.

Materiały i metodyka badań

W badaniach trwałościowych ostrzy z węglika spiekane WC-Co (rodzaj KCR08) wykorzystano standardowe płyty drewnopochodne produkowane przemysłowo przez firmę. Były to: płyty pilśniowe - MDF i HDF oraz płyty wiórowe - trójwarstwowa i MFP®. Płyta HDF miała grubość 3 mm, pozostałe - 16 mm. Płyty nie były pokryte żadnymi powłokami

dekoracyjnymi. Określono ich istotne właściwości fizyko-mechaniczne z punktu widzenia trwałości ostrzy skrawających oraz oporów skrawania podczas frezowania (Tabela 2). Badania właściwości płyt przeprowadzono zgodnie z normami: PN-EN 310, PN-EN 323, ISO 3340.

Tabela 2. Wybrane właściwości badanych płyt drewnopochodnych
Table 2. The selected properties of tested wood-based panels

Płyta drewnopochodna	Gęstość (kg/m ³)	Twardość Brinella	Wytrzymałość na zginanie (%)	Moduł sprężystości (MPa)	Zawartość piasku (%)
HDF	860	5,6	50,0	5496	0,002
MDF	746	4,0	33,9	4180	0,003
MFP®	725	4,7	21,1	3803	0,037
Wiórowa trójwarstwowa	649	2,6	8,7	2212	0,185

Minimalny plan badań eksperymentalnych realizowanych w ramach klasycznej metody badania trwałości narzędzia musi umożliwiać wyznaczenie następującej zależności funkcyjnej:

$$T = f(v) \quad (2)$$

gdzie: T (min.) - trwałość ostrza, v (m/s) - prędkość skrawania.

Wymaga to oczywiście przyjęcia kryterium stępienia (np. krytycznej wartości wskaźnika zużycia ostrza na powierzchni przyłożenia VB_{max}) oraz wykonania kilku testów trwałości dla pięciu różnych prędkości skrawania. Pozostałe warunki skrawania powinny być zachowane bez zmian (Jemielniak 2004). Zależność tę można przedstawić w układzie podwójnie logarytmicznym w postaci prostej (Rys. 1).

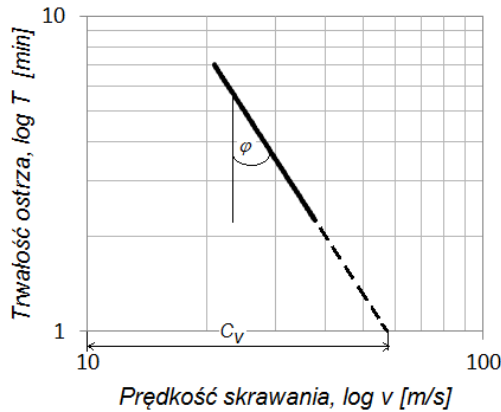
Aproksymowana funkcja ma postać:

$$T = C_T/v^s \text{ lub } v = C_v/T^m \quad (3)$$

gdzie: T - okres trwałości, C_T , C_v - stałe zależne od warunków obróbki, s , m - wykładniki potęgowe wyznaczane doświadczalnie $s = 1/m$, v - prędkość skrawania.

Stała C_v odpowiada wartości rzędnej v w punkcie $T = 1$ osi odciętych, wykładnik potęgowy m jest współczynnikiem kierunkowym prostej, a więc może być łatwo określony z zależności $m = \tan \varphi$, gdzie φ jest kątem pochylenia prostej (Dmochowski 1978).

Zależność ta może być bezpośrednio wykorzystywana do porównywania skrawalności różnych materiałów (Kiepuszewski i in. 1980).



Rys. 1. Funkcja $v = f(T)$ w układzie podwójnie logarytmicznym
Fig. 1. The function $v = f(T)$ in a double logarithmic system

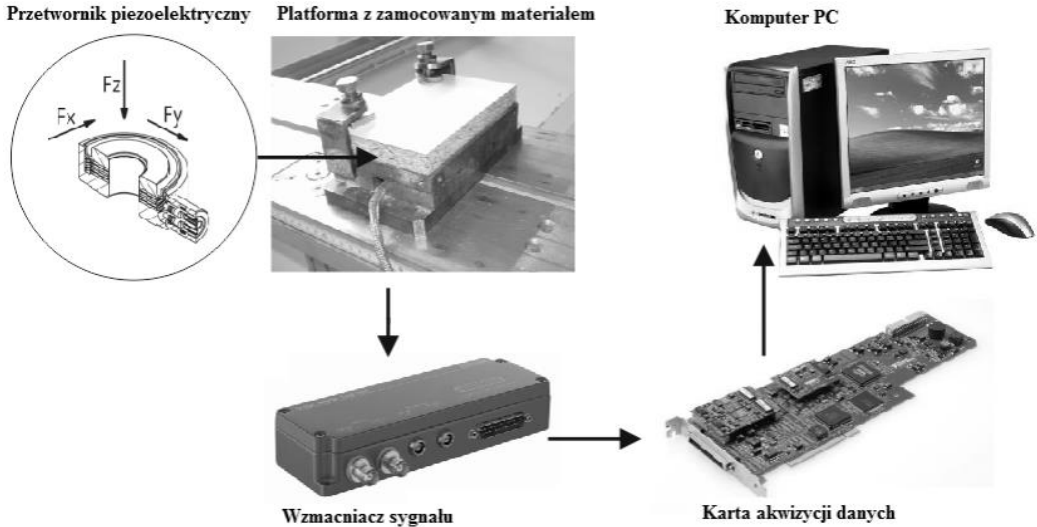
Płyty frezowano na centrum obróbczym CNC Busellato Jet 130 z wykorzystaniem jednostrzowej głowicy frezarskiej Faba FTS.07L4043.01 o średnicy 40 mm, do której mocowano noże wymienne z węgla spiekane WC-Co firmy Ceratizit o symbolu KCR08 i wymiarach $29,5 \times 12,0 \times 1,5 \text{ mm}^3$. Skrawano rowki o głębokości 6 mm w formatkach płytowych o wymiarach $1000 \times 400 \times 16 \text{ mm}^3$. W przypadku płyt HDF o grubości 3 mm, żeby uzyskać wymiar całkowity 15 mm łączono płyty w pakiety po 5 szt. z wykorzystaniem ścisków stolarskich.

Podczas badań trwałościowych stosowano pięć różnych prędkości obrotowych wrzeciona: 18 000 obr./min. (co oznaczało prędkość skrawania na poziomie 37,7 m/s), 16 000 obr./min. (33,5 m/s), 14 000 obr./min. (29,3 m/s), 12 000 obr./min. (25,1 m/s) oraz 10 000 obr./min. (20,9 m/s). Dla każdego z badanych materiałów określano trwałość 6 narzędzi (2 z nich eksploatowano przy 18 000 obr./min.). Wartość posuwu na ostrze była przez cały czas utrzymywana na poziomie 0,15 mm, co uznano za typową wartość dla badanych płyt drewnopochodnych.

Co 1 m drogi posuwu (długość formatki) przerywano obróbkę by w bezpośredni sposób (na mikroskopie narzędziowym) monitorować stan ostrza. W klasycznej metodzie określania zależności Taylora przyjęto kryterium stępienia na poziomie zalecanym przez producenta narzędzi - maksymalne pasmo starcia na powierzchni przyłożenia $VB_{max} = 0,2 \text{ mm}$.

Dla ostrza nowego i uznanego za stępione (po osiągnięciu kryterium stępienia $VB_{max} = 0,2 \text{ mm}$) mierzono składowe siły skrawania z wykorzystaniem toru pomiarowego przedstawionego na Rys. 2. Podstawowym elementem tego toru jest trójskładowy czujnik piezoelektryczny (Kistler 9601) współpracujący z odpowiednim wzmacniaczem ładunku (Kistler 5036). Układ ten daje możliwość pomiaru sił skrawania w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach. Sygnały pomiarowe są rejestrowane cyfrowo z wykorzystaniem karty akwizycji danych - National Instrument PCI-6111 o częstotliwości próbkowania 50 kHz.

Akwizycja danych pomiarowych oraz ich późniejsza obróbka odbywała się w aplikacji opracowanej w środowisku programowania NI LabVIEW 2015. Podczas pomiaru sił stosowano stałe parametry skrawania: obroty wrzeciona - 18 000 obr./min., posuw na ostrze 0,15 mm.

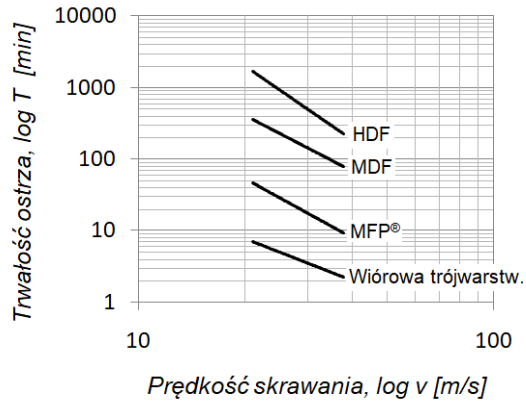


Rys. 2. Elementy toru pomiarowego sił skrawania podczas frezowania
Fig. 2. The elements of cutting forces measuring chain during milling

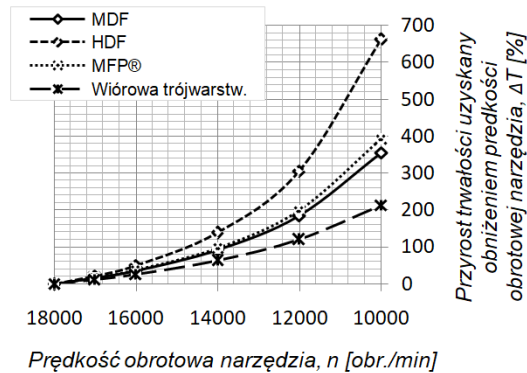
Wyniki badań i analiza

Na Rys. 3 przedstawiono zależność trwałości ostrza od prędkości skrawania w układzie podwójnie logarytmicznym. Widoczne są bardzo duże różnice w trwałości narzędzia dla poszczególnych płyt oraz istotny wpływ prędkości skrawania na trwałość. Ponad stukrotna różnica trwałości między płytą wiórową trójwarstwową, a płytą HDF (na niekorzyść tej pierwszej) przy niskich prędkościach skrawania, wskazuje na odmienne mechanizmy zużycia ostrzy z węglika spiekaneego podczas obróbki płyt pilśniowych i wiórowych (Wilkowski i in. 2018).

Duży wpływ prędkości skrawania daje szerokie możliwości sterowania trwałością ostrza w trakcie obróbki CNC. Na Rys. 4 pokazano jak zwiększy się trwałość (przyrost procentowy) w wyniku obniżenia prędkości obrotowej narzędzia. Gdy obroty zostaną zredukowane z 18 000 obr./min. do 10 000 obr./min. trwałość wzrosła: dla płyty HDF o ponad 600%, dla płyt MDF i MFP® niecałe 400%, a dla płyty trójwarstwowej ok. 200%.



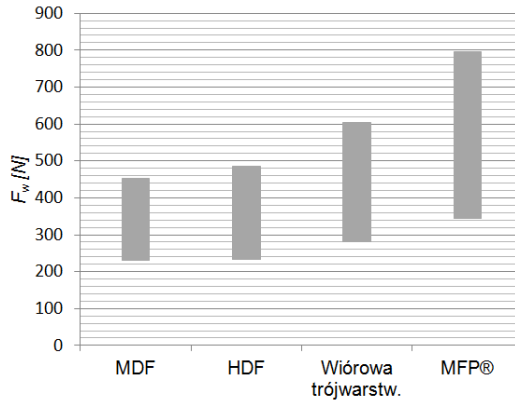
Rys. 3. Wpływ prędkości skrawania na trwałość ostrzy
Fig. 3. The influence of cutting speed on tool life



Rys. 4. Procentowy przyrost trwałości ostrzy uzyskany obniżeniem prędkości obrotowej narzędzia (od prędkości referencyjnej 18 000 obr./min.)
Fig. 4. The percent increase in tool life achieved by reducing cutting speed (from reference speed of 18,000 rpm)

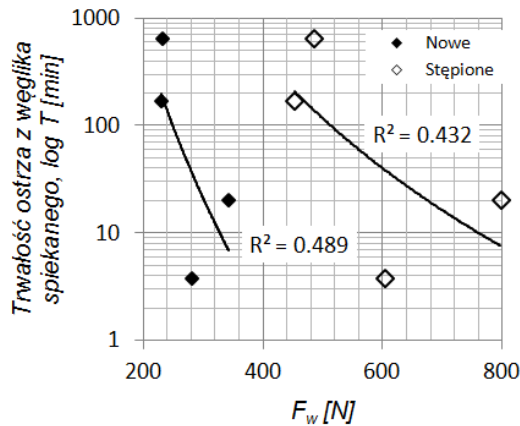
W poszukiwaniu powodów drastycznych różnic między badanymi płytami drewnopochodnymi w tempie zużywania się narzędzi skrawających przeanalizowano siły zarejestrowane podczas frezowania. Na Rys. 5 pokazano zarejestrowane zakresy siły wypadkowej (suma geometryczna składowych sił: F_x - równoległej do prędkości posuwu narzędzia i F_y - prostopadłej do tej prędkości) dla ostrza nowego i stępionego. Najmniejszy zakres uzyskano dla płyty MDF a największy dla płyty MFP®.

Większy zakres siły wypadkowej uzyskany dla płyty MFP® niż dla płyty trójwarstwowej może dziwić w kontekście jej budowy strukturalnej. Płyta MFP® jest jednowarstwowa, a zatem ma strukturę na przekroju poprzecznym bardziej jednolitą niż płyta trójwarstwowa. Wyższa gęstość płyty MFP® (725 kg/m^3) od płyty trójwarstwowej (649 kg/m^3) tłumaczy nieco wyższe wartości siły zarówno dla ostrza nowego jak i dla stępionego.



Rys. 5. Zakresy sił skrawania podczas frezowania badanych płyt drewnopochodnych
Fig. 5. The range of cutting forces during milling of tested wood-based panels

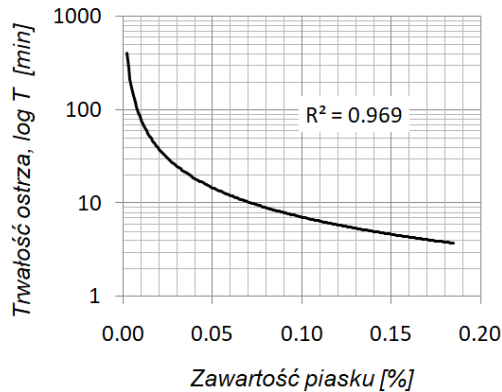
Jednak, jak pokazano na Rys. 6, korelacja między siłami skrawania a trwałością ostrzy jest na niskim poziomie i to niezależnie od stopnia zużycia. A zatem również inne czynniki muszą mieć istotne znaczenie w tym procesie.



Rys. 6. Zależność trwałości ostrzy od siły skrawania podczas frezowania ostrzem nowym i stępionym
Fig. 6. The dependence of tool life on cutting forces during milling with a new and blunt blade

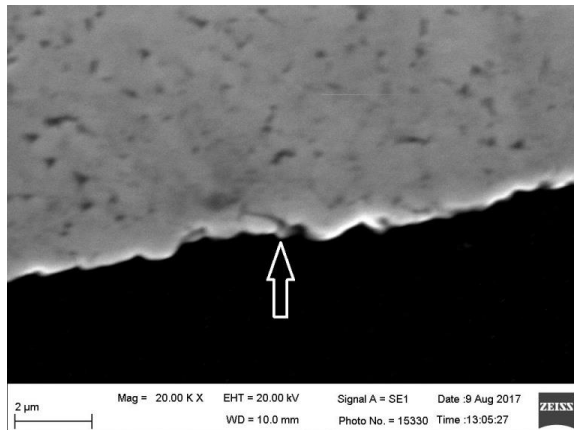
Takim czynnikiem jest na pewno zawartość zanieczyszczeń mineralnych (piasku) w badanych płytach drewnopochodnych. Jak pokazano na Rys. 7 zależność trwałości od procentowej zawartości piasku jest na wysokim poziomie współczynnika determinacji ($R^2 = 0,969$) i ma charakter krzywoliniowy. Trwałość ostrza szybko maleje do poziomu 0,05% zawartości piasku w płycie, a następnie tempo tego spadku drastycznie spada. Można powiedzieć, że od tego poziomu zawartości piasku w górę, uzyskana trwałość ostrzy podczas obróbki będzie na równie niskim poziomie (poniżej 10 min.).

Mechanizm zużycia ostrzy z węgla spiekane go polega na mikrowykruszeniach ziaren węgla wolframu WC i większych wykruszeniach krawędzi tnącej pod wpływem udarowej pracy ostrza i uderzeń twardych cząstek piasku znajdujących się w płycie. Między kolejnymi wykruszeniami, krawędź ostrza jest doszlifowywana tarciowo. Obraz mikroskopowy SEM (ang. *Scanning Electron Microscope*) mikropęknięcia na granicy ziarna WC na krawędzi tnącej ostrza z węgla spiekane go WC-Co pokazano na Rys. 8.



Rys. 7. Wpływ zanieczyszczeń mineralnych płyt drewnopochodnych na trwałość ostrzy z węgla spiekane go podczas frezowania

Fig. 7. The Influence of mineral impurities of wood-based panels on life-time of cemented carbide blades during milling



Rys. 8. Mikropęknięcie na granicy ziarna WC na krawędzi tnącej ostrza z węgla spiekane go WC-Co
Fig. 8. The microcrack at WC grain border on cutting edge of WC-Co cemented carbide blade

Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników można wyciągnąć następujące wnioski:

Trwałość ostrzy z węgla spiekane go WC-Co podczas frezowania płyt drewnopochodnych silnie zależy od prędkości skrawania.

Trwałość ostrzy podczas obróbki płyt pilśniowych jest wielokrotnie wyższa od trwałości uzyskiwanej dla płyt wiórowych.

Korelacja między siłami skrawania a trwałością ostrzy jest na niskim poziomie i to niezależnie od stopnia zużycia ostrza.

Podstawowym czynnikiem materiałowym wpływającym na trwałość ostrzy z węglika spiekane jest zawartość zanieczyszczeń mineralnych (w postaci piasku) w płytach drewnopochodnych.

Literatura

Dmochowski J., 1978: Podstawy obróbki skrawaniem. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.

Jemielniak K., 2004: Obróbka skrawaniem. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.

Kiepuszewski B., Legutko S., Wieczorkowski K., 1980: Skrawanie metali. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań.

Ortner H.M., Ettmayer P., Kolaska H., 2012: The history of technological progress of hard metals. Proceedings of the Zhuzhou International Conference on Cemented Carbides, 13-14 September, 2012, in Zhuzhou, Hunan Province, China, 45-57.

Porankiewicz B.: Tępienie się ostrzy i jakość przedmiotu obrabianego w skrawaniu płyt wiórowych. Dział Wydawnictw Akademii Rolniczej w Poznaniu 2003, Prace habilitacyjne, Nr 341. Poznań.

Wilkowski J., Barlak M., Werner Z., Czarniak P., Wachowicz J., 2018: The effect of the WC-Co properties on the tool wear during particleboards milling. Chip and Chipless Woodworking Processes, 11(1): 211-216.

Wykaz norm

PN-EN 310:1994 Płyty drewnopochodne - Oznaczenie modułu sprężystości przy zginaniu i wytrzymałości na zginanie.

PN-EN 323:1999 Płyty drewnopochodne - Oznaczenie gęstości.

ISO 3340: 1976 Płyty pilśniowe - Oznaczenie zawartości piasku.

Źródła internetowe

http://sandvik.ecbook.se/se/pl/training_handbook/ (stan na dzień 15.10.2018)

www.ceratitis.com/en/products/wood-stone-working (stan na dzień 25.10.2018)

www.tigra.de/en/products/woodworking.html (stan na dzień 25.10.2018)

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Zgłoszony / Submitted: 05.11.2018

Opublikowany online / Published online: 17.12.2018